

	PAGES	FIGURES
b) Dépôts détritiques, alluvions, placers :		
1. Or : Placer de ravin, placer de chenal, placer de plaine, placer de terrasses, placer glaciaire, placers anciens, placers souterrains, placer de plage, placer fossile . . .	608	38-39-40
2. Etain : Alluvions de cassitérite de Bangka . . . . .	612	41
3. Platine . . . . .	613	
4. Placers de diamants du Brésil . . .	613	
5. Placers de rubis et de saphirs dans l'Inde . . . . .	613	
6. Placers de rivière, de monazite . .	613	
7. Placer de magnétite . . . . .	613	
Influence de la profondeur sur la richesse .	614	
c) Sédiments dans les lacs et les mers . .	614	
Importance de l'érosion . . . . .	614	
Modes de précipitation : mécanique, chimique, organique . . . . .	614	
Exemples : Calcaire, dolomie, sel, gypse, craie, craie phosphatée, sels métalliques . . . . .	615	
Métamorphisme . . . . .	617	
Exemples :		
1. Schistes bitumineux cuprifères du Mansfeld . . . . .	617	42
2. Gisement de pétrole . . . . .	618	43
3. Gisements de tourbe, lignite, charbon, etc. . . . .	619	44-45-46 47-48
4. Gisement de soufre d'Italie (solfatares) . . . . .	622	
Influence de la profondeur sur la richesse . . . . .	622	
VI. Gisements dynamo-métamorphiques . . . .	623	
Exemple :		
1. Couches de graphite des Alpes . . .	623	
2. Ardoises dans les terrains primaires . . . . .	623	
3. Gisements de magnésite . . . . .	623	
4. Gisement de franklinite de New-Jersey . . . . .	623	
Conclusions . . . . .	624	

## L'ELECTRICITÉ DANS LES MINES

—

Essais effectués dans la galerie d'expériences  
de Gelsenkirchen-Bismarck sur la sécurité des machines et  
appareils électriques dans les atmosphères  
explosibles des mines

PAR  
M. LE BERGASSESSOR BEYLING

Un important et remarquable mémoire vient de paraître dans la publication *Glückauf* (1906, n° 1 à 13) (1), sur les essais dirigés par M. le Bergassessor Beyling dans la galerie d'expériences de Gelsenkirchen-Bismarck et exécutés au cours des années 1903, 1904 et 1905.

Ces essais, qui ont été conduits avec une science et une méthode auxquelles il convient tout d'abord de rendre hommage, ont permis de déterminer les dispositifs dont il convient de munir les moteurs électriques et leur appareillage pour pouvoir fonctionner, avec sécurité, dans les endroits des mines où des atmosphères explosibles peuvent se produire.

M. le Bergassessor Beyling et ses collaborateurs se sont basés, pour arriver à ce résultat important pour l'exploitation des mines, sur des expériences nouvelles qu'ils ont organisées en vue de mettre en lumière les manifestations physiques des explosions de grisou se produisant dans des espaces clos ou dans des espaces d'un certain volume incomplètement fermés, ou bien encore pourvus d'ouvertures munies de toiles métalliques; ces expériences ont notamment fait reconnaître des faits nouveaux qui sont en opposition avec nombre d'idées admises communément quant aux inflammations des atmosphères grisouteuses. Et, à ce titre, malgré le caractère un peu spécial du mémoire dont il s'agit, ce travail doit être étudié par tous ceux qui s'intéressent à la question du grisou.

(1) Publié en brochure (de 90 pages et 137 figures) par le *Verein für die Bergbaulichen Interessen im oberbergamtbezirk Dortmund (Essen, Ruhr)*. — Prix : 2 marks.

Ci-dessous nous en donnons une analyse, suffisante, pensons-nous, pour la majeure partie de ceux qui s'intéressent à la question (1).

A. HALLEUX

### PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS

#### I. — Du danger d'inflammation par les installations électriques.

Ce chapitre est consacré au rappel des essais de Wüllner et Lehmann de la Commission prussienne du grisou en 1884 et 1885, et de Mallard, Lechatelier et Chesneau pour la Commission française du grisou, de ceux de la Commission belge et enfin de ceux plus récents de la Commission spéciale anglaise. Les expériences les plus importantes effectuées pour étudier l'inflammation des mélanges grisouteux par l'étincelle électrique furent celles de MM. Heise et Thiem (1897), qui, les premiers, opérèrent avec du grisou naturel.

Ces essais ont montré que, en principe, il faut considérer toute étincelle électrique comme dangereuse dans une atmosphère explosible; il en résulte que dans tout transport de puissance souterrain, il faudra compter avec la possibilité de production d'étincelles.

En ce qui concerne les dangers spéciaux d'incendie et ceux qui pourraient naître d'un contact accidentel du personnel, les moyens dont on dispose actuellement sont suffisamment efficaces.

#### II. — Origine des essais.

En 1902, la Fédération des Electrotechniciens allemands ayant à réviser les règles spéciales de sécurité auxquelles sont soumises les installations électriques en général (2), se

(1) Nous tenons à la disposition des lecteurs des *Annales des Mines* qui en feraient la demande, la traduction française du mémoire de M. Beyling.

(2) *Verband der Deutscher Electrotechniker.*

heurta à des difficultés, bien compréhensibles d'ailleurs, quand il fallut spécifier les conditions particulières à remplir par le matériel destiné aux mines grisouteuses. M. le Bergassessor Baum proposa alors de faire, dans la galerie d'expériences, des essais pratiques sur les moteurs électriques enveloppés et protégés ainsi que sur leurs appareillages. A la suite de cette proposition, les expériences dans la galerie de Gelsenkirchen-Bismarck furent décidées, sous la direction d'une commission composée de MM. Beyling, Baum et von Groddeck; l'Association pour les intérêts miniers du district de Dortmund prenait les frais à sa charge et les firmes Siemens et Halske, Schuckert, Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft, Helios, Voigt et Haeffner décidèrent de présenter leur matériel aux essais.

#### III. — Coup d'œil général sur les essais.

La préparation de la galerie d'expériences et la construction du matériel à soumettre aux essais nécessitèrent un temps assez long, de sorte que les recherches ne purent être commencées qu'en août 1903; leur durée avait été évaluée à deux ou trois mois, mais cette prévision ne fut point réalisée; les moteurs et nombre d'appareils protégés se montrèrent tous dangereux dans les atmosphères explosibles. Ces résultats défavorables et inattendus modifièrent profondément le programme primitivement établi et l'on se décida à rechercher, par des expériences appropriées et minutieusement exécutées, quelles étaient les types d'enveloppes de sécurité dans les atmosphères grisouteuses; une nouvelle galerie d'expériences fut construite et ce ne fut qu'au printemps de 1904 que ces essais, dits « fondamentaux », purent être commencés, pour être terminés en automne de la même année. Par la suite, en se basant sur les résultats de ces « essais fondamentaux », de nouveaux types d'enveloppes et de protection furent construits par

les firmes ci-dessus mentionnées et ce matériel fut expérimenté en été 1905.

Il ressort de ce qui vient d'être dit que les essais furent répartis en trois groupes :

I. Année 1903. — Essais du matériel construit par les firmes électriques;

II. Année 1904. — Essais fondamentaux organisés pour déterminer les dispositifs de sécurité des moteurs et de l'appareillage;

III. Année 1905. — Epreuves du matériel construit d'après les résultats acquis par les essais n° II.

#### IV. — Description de l'installation d'essais.

Une description détaillée de la galerie de Gelsenkirchen-Bismarck (charbonnage de Consolidation) a paru dans le *Glückauf* (1); le grisou est capté dans un chantier clos de l'étage n° II du puits Consolidation III-IV. Des analyses ont établi que pendant la durée des expériences la composition du gaz capté n'avait pas varié. La poussière de charbon dont on fit usage était obtenue par le broyage du charbon gras de la couche *P* du puits ci-dessous cité; cette poussière était très facilement inflammable.

La galerie fut chauffée à la vapeur pour y réaliser une température analogue à celle des travaux souterrains. Cette galerie, spécialement construite pour les essais sur les explosifs, était peu appropriée aux expériences à exécuter sur les machines électriques; c'est pourquoi, le premier groupe d'essais effectués, une galerie nouvelle fut construite: comme l'ancienne, elle fut revêtue de trois couches de madriers en pitchpin, maintenus par des anneaux en U; le sol fut disposé en surface plane au niveau du sol extérieur, de manière à introduire facilement les lourdes

(1) Années 1894 et 1897.

pièces; enfin sa longueur fut réduite à 4 mètres, pour une hauteur totale libre de 1<sup>m</sup>80. Les appareils servant à introduire et à mélanger le gaz et à chauffer la chambre furent identiques à ceux de l'ancienne installation. La fermeture se faisait au moyen d'une paroi en papier et d'une autre en planches, au travers de laquelle pouvait passer, par une boîte à bourrage, l'arbre d'accouplement pour les machines à expérimenter.

On disposait d'une source pouvant donner 50 HP., sous 500 volts continu: un transformateur rotatif pouvait donner du courant alternatif, également sous 500 volts; de plus, des transformateurs statiques permettaient d'élever la différence de potentiel à 2,000 volts et de l'abaisser à 120.

Pour la mise sous charge des moteurs, il fut fait usage d'une génératrice à courant continu (230 volts 50 HP.), qui débitait dans des résistances liquides; elle était munie de différentes poulies d'accouplement.

### II<sup>me</sup> PARTIE : LES ESSAIS.

#### I. — Essais de l'année 1903.

Les moteurs à soumettre aux essais avaient été construits pour des puissances de 1.5 à 30 HP.; on peut en effet prévoir que dans les endroits des mines où l'afflux de grisou est à craindre, on ne dépassera pas la puissance de 30 HP.

#### A. MOTEURS.

Les dangers que présentent les moteurs électriques, dans les atmosphères grisouteuses ont leur origine: 1° dans les étincelles produites par le fonctionnement régulier et normal, comme aux collecteurs des génératrices à courant continu ou aux bagues des moteurs asynchrones; 2° dans la température élevée que les enroulements peuvent atteindre en cas de surcharge ou de détériorations. Cependant les dangers du deuxième ordre sont moins à craindre.

Les modes de protection des moteurs soumis aux essais de 1903 étaient de différentes natures : pour les machines les plus grandes, les constructeurs s'étaient bornés à envelopper les parties susceptibles de produire des étincelles ; pour d'autres, ces parties et les enroulements avaient chacun une enveloppe spéciale ; enfin, un troisième mode consistait à protéger complètement le moteur tout entier au moyen d'une enveloppe unique.

Quant au principe même suivant lequel les protections étaient construites, on peut distinguer : 1<sup>o</sup> les enveloppes *hermétiques* destinées à empêcher tout afflux d'atmosphère explosible aux points dangereux, et 2<sup>o</sup> les enveloppes destinées à empêcher la propagation d'une explosion survenue dans l'espace qu'elles délimitaient.

Dans l'exposé suivant, les expériences sont rapportées dans l'ordre où elles ont été exécutées : ces essais, qu'on peut considérer comme préalables, ont successivement attiré l'attention sur divers côtés nouveaux de la question.

1. *Moteur triphasé 25 HP., 500 volts, 960 tours, avec résistances de démarrage.* — Les bagues étaient placées en dehors des paliers et enveloppées par une boîte en fonte contenant de l'huile de manière à noyer les frotteurs en cuivre ; un dispositif ne permettait d'ouvrir cette boîte que dès l'instant où le courant était coupé. Pour observer ce qui se passait dans cette enveloppe, on pouvait placer sur son couvercle une plaque de verre. Après un fonctionnement préalable d'une demi-journée, le moteur fut mis à l'essai, le niveau de l'huile maintenu assez haut pour que les étincelles ne puissent jaillir au dessus de la surface liquide ; le moteur fonctionna pendant une demi-heure à pleine charge, puis il fut arrêté et après repos dans la galerie il fut remis en marche dans l'atmosphère explosible ; aucune explosion n'eut lieu, mais on observa une

chute de tension qui en peu d'instant amenait la différence de potentiel à 120 volts.

Le moteur fut aussitôt arrêté et l'on constata que la caisse protectrice ainsi que l'huile étaient très chaudes ; deux paires de balais avaient disparu et les deux balais du troisième anneau étaient usés jusqu'à 5 millimètres. Pour continuer l'expérience, la machine fut remise en marche, exactement dans les mêmes conditions défectueuses où elle venait d'être trouvée, et l'on observa, au moyen de la fenêtre de verre, ce qui allait se passer ; on constata que dans ces conditions, même sous huile, de fortes étincelles se produisirent, l'huile fut gazéifiée et peu après une violente explosion de gaz d'huile se produisit ; le couvercle de la boîte fut brisé et une flamme jaillit qui mit le feu à l'atmosphère grisouteux.

Le résultat défavorable de cet essai doit être attribué à ce fait que, outre les balais et l'anneau, la mince couche d'huile qui existe toujours produit l'émission d'étincelles qui usent les balais et peu à peu gazéifient l'huile. Les efforts faits, par la suite par le constructeur pour éviter ces effets restèrent sans succès. Cette expérience fit abandonner les enveloppes à huile.

2. *Moteur triphasé de 30 HP., sous 500 volts, 960 tours : avec enroulement spécial pour démarrage et dispositif automatique de court-circuit de celui-ci pour la marche normale.* — Le dispositif de mise en court-circuit était contenu dans une caisse plate en fonte, hermétique, tournant avec l'induit ; sa capacité était d'environ de 2.5 décimètres cubes. Après essai préalable, le moteur fut mis en marche dans une atmosphère de 8 à 9 % de grisou ; le démarrage fut répété plusieurs fois sans qu'il se produisît d'explosion ; pendant une journée, il fut laissé dans la galerie, et mis périodiquement en service. Comme il ne se

produisait dans l'espace cuirassé que des changements de température insignifiants, l'atmosphère explosible ne pouvait vraisemblablement pénétrer dans l'enveloppe. C'est pourquoi, abandonnant ce système d'expérimentation, on remplit l'enveloppe d'un mélange d'air et de grisou, et le moteur fut remis en marche dans la galerie; aucune explosion ne se produisit; une petite sphère de cire fut retrouvée intacte dans l'enveloppe.

L'essai fut continué avec des intervalles d'arrêt succédant à des périodes de fonctionnement; au quinzième démarrage une explosion se produisit dans la galerie et le couvercle de la caisse protectrice fut détruit. En examinant le moteur, on trouva que le système centrifuge destiné à mettre automatiquement l'enroulement de démarrage en court-circuit, était endommagé et que, au cours de la marche, cet enroulement était successivement mis et retiré du circuit de l'induit, ce qui provoquait de fortes étincelles.

Il ressort de cet essai que le dispositif de démarrage fonctionnant normalement était sans danger; cependant, l'accident qui s'était produit montra que le moteur ne pouvait, ainsi construit, être considéré comme étant de sécurité.

Subsidiairement, on peut noter que la boule de cire témoin n'a montré aucune trace de l'explosion dans laquelle elle s'est trouvée.

3. *Moteur triphasé de 30 HP., sous 500 volts, avec rhéostat de démarrage.* — Les bagues sur lesquelles posaient des frotteurs en gaze de cuivre étaient enveloppées, ainsi que le dispositif de mise en court-circuit et de levage des balais, dans une boîte hermétique, en fonte, extérieure au palier; l'arbre pénétrait dans cette boîte par un joint étanche. Le joint de cette enveloppe était muni d'un anneau en caoutchouc.

Le moteur fut installé et mis en marche dans la galerie; le relevage des balais donnant de fortes étincelles fut opéré plusieurs fois; le moteur s'étant échauffé normalement fut mis en marche après un repos d'une heure; à la manœuvre du levier de court-circuit une forte explosion, détruisant la boîte, se produisit. L'explosion fut clairement expliquée par l'aspiration du mélange explosif dans la boîte de protection, par le canal ménagé dans l'arbre pour amener les conducteurs aux bagues. En admettant même que cette ouverture franche n'eût pas existé, l'aspiration se serait faite quand même, attendu qu'on ne peut obtenir une enveloppe absolument hermétique. Cet essai montra la pression élevée que les gaz de l'explosion donnèrent dans l'enveloppe malgré l'ouverture qui se trouvait dans celle-ci.

4. *Moteur identique au précédent, avec balais en charbon.* — Ce moteur n'était pas muni du système de relevage des balais; les bagues et balais étaient enveloppés complètement comme dans le cas précédent; la contenance de l'enveloppe était ainsi réduite à 0.5 décimètre cube.

L'essai eut lieu dans les mêmes conditions que le précédent, et l'explosion eut lieu après que l'appareil fut resté une nuit dans la galerie. Ce moteur ne fut plus représenté aux essais parce que les bagues s'échauffaient trop.

5. *Moteur triphasé de 5 HP. sous 500 volts, 1,500 tours, avec bagues et résistances de démarrage.* — Les balais étaient en charbon; le moteur tout entier, ainsi que les bagues et balais étaient enveloppés de toile métallique; ce tissu venait s'appliquer sur les ouvertures ménagées dans la carcasse; la toile était simple, en fils de laiton de 0.3<sup>m/m</sup>, avec 56 mailles par centimètre carré; l'espace cuirassé était d'environ 20 décimètres cubes. Mis en essai dans la galerie, ce moteur provoque l'explosion: on reconnut que

dans le socle il y avait quatre ouvertures atteignant ensemble environ un mètre carré et qui n'étaient pas protégées.

6. *Moteur triphasé avec induit en court-circuit sous 500 volts, 7.5 HP. et 1,450 tours.* — Ce moteur pouvait recevoir deux protections : l'une constituée par une enveloppe hermétique en tôle l'enveloppant entièrement, l'autre par une enveloppe à fenêtres garnies de toiles métalliques. Comme, en service normal, ce moteur ne pouvait provoquer d'étincelles, on installa dans l'enveloppe une spirale en platine qui devait être portée au rouge par le passage d'un courant : cette spirale jouant le même rôle que l'enroulement porté à une température anormale en cas de surcharge continue ou de perturbation dans le fonctionnement du moteur.

Les expériences commencèrent par l'essai de la cuirasse avec toile métallique; bien que cette toile comptait 144 mailles par centimètre carré, chaque fois, l'explosion fut communiquée à l'extérieur; ces expériences permirent notamment de constater que l'action des flammes provenant de l'explosion se produisait différemment selon les endroits, sur les toiles métalliques. L'enveloppe avec toile métallique était donc insuffisante.

L'enveloppe hermétique fut ensuite essayée; attendu qu'une enveloppe de l'espèce séjournant assez longtemps dans le grisou finissait par se remplir de gaz explosible, on décida, pour gagner du temps, de faire pénétrer à l'avance l'atmosphère grisouteuse dans l'enveloppe; l'essai fut fait dans ces conditions: l'explosion se produisit et se propagea à l'extérieur en détruisant partiellement la protection. La cuirasse hermétique fut ainsi reconnue inefficace.

7. *Moteur à courant continu de 6.5 HP., sous 500 volts, 100 tours.* — Ce moteur, de construction normale, était complètement enfermé dans une enveloppe en fonte;

vers le côté collecteur, deux fenêtres de 110<sup>m/m</sup> de diamètre étaient ménagées et recouvertes de couvercles en toile métallique à charnières fixés par un boulon; cette toile comptait 56 mailles par centimètre carré. Ce moteur donna chaque fois des inflammations qui se communiquèrent dans la galerie. On doubla sans succès la toile métallique.

Tels furent les essais exécutés en 1903; ils firent reconnaître qu'aucun des moyens préconisés pour la protection des machines électriques n'étaient efficaces.

(A suivre.)